

**Valve, for reciprocating piston machine, comprises a valve disk having an undercut expansion axially protruding over an enlarged area of a valve shaft to axially clamp the enlarged area and produce a form-locking connection**

**Patent number:** DE10204122  
**Publication date:** 2003-05-08  
**Inventor:** MEINTSCHEL JENS (DE); STOLK THOMAS (DE);  
GAISBERG ALEXANDER VON (DE)  
**Applicant:** DAIMLER CHRYSLER AG (DE)  
**Classification:**  
**- international:** *B21K1/22; B21K25/00; B23K31/02; F01L3/02;  
F01L3/20; B21K1/00; B21K25/00; B23K31/02;  
F01L3/00; F01L3/02; (IPC1-7): F01L3/20; B21K1/20;  
B23K35/24; F16K1/36*  
**- european:** B21K1/22; B21K25/00; B23K31/02; F01L3/02; F01L3/20  
**Application number:** DE20021004122 20020201  
**Priority number(s):** DE20021004122 20020201

**Report a data error here**

**Abstract of DE10204122**

Valve (1) for a reciprocating piston machine comprises a valve shaft (2) and a separately constructed valve disk (3) having a central opening (4) receiving the disk-side end of the valve shaft. An undercut expansion (5) with rounded transitions extending in the peripheral direction and remaining within the central opening is provided in the valve disk. An enlarged area (6) of the disk-side end of the valve shaft engages in the undercut expansion so that the undercut expansion axially protrudes over the enlarged area to axially clamp the enlarged area and produce a form-locking connection loaded in the pressure and tension direction and secured against tilting. The valve plate is made of a material, preferably a ceramic material, having a lower coefficient of expansion than steel (the material of the valve shaft). Independent claims are also included for alternative methods for producing the above valve.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 102 04 122 C 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 01 L 3/20**  
F 16 K 1/36  
B 21 K 1/20  
B 23 K 35/24

②① Aktenzeichen: 102 04 122.9-13  
②② Anmeldetag: 1. 2. 2002  
④③ Offenlegungstag: -  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 8. 5. 2003

DE 102 04 122 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Meintschel, Jens, Dipl.-Ing., 73730 Esslingen, DE;  
Stolk, Thomas, Dipl.-Ing., 73230 Kirchheim, DE;  
Gaisberg, Alexander von, Dipl.-Ing., 70736  
Fellbach, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE	40 31 549 C1
DE	100 38 332 A1
US	21 36 690
EP	11 93 375 A1
EP	2 96 619 A1

⑤④ Gebautes Ventil für Hubkolbenmaschinen und Verfahren zu dessen Herstellung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein gebautes Ventil für Hubkolbenmaschinen und ein Verfahren zu seiner Herstellung. Der Ventilschaft ist formschlüssig mit dem Ventilteller verbunden, indem am tellerseitigen Ventilschaftende eine Verdickung vorgesehen ist, die in eine entsprechende sich in Umfangsrichtung erstreckende Erweiterung der Mitlenöffnung des Ventiltellers eingreift. Um bei dem gebauten Ventil die Vorspannung innerhalb der Teller/Schaft-Verbindung im gesamten, auftretenden Temperaturbereich zumindest auf einem ausreichend hohen Mindestniveau erhalten zu können, zugleich aber die Verbindung unter Einsatz beherrschbarer Fertigungsverfahren auch tatsächlich serienmäßig herstellen zu können, wird gemäß einer ersten erfindungsgemäßen Lösung die schaftseitige Verdickung in die tellerseitige Erweiterung axial hinein gestaucht, wobei für den Ventilteller ein solcher Werkstoff - vorzugsweise Keramik - ausgewählt wird, der sich thermisch weniger stark ausdehnt als der Schaftwerkstoff. Nach einem anderen Lösungsweg mit einem Ventilteller aus einem schweißbaren Werkstoff wird eine ausreichende Vorspannkraftreserve durch eine Bauteilelastizität innerhalb des Ventiltellers dadurch geschaffen, daß in dem hohlen und in sich mehrteiligen Ventilteller der eingeschweißte Boden membranartig elastisch ausgebildet wird.

DE 102 04 122 C 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein gebautes Ventil für Hubkolbenmaschinen sowie ein Verfahren zur Herstellung eines gebauten Ventils.

[0002] Gebaute Ventile haben den Vorteil, dass für den sowohl thermisch als auch mechanisch am stärksten beanspruchten Ventilteller ein gesonderter, bezüglich des dort vorliegenden Beanspruchungsspektrums optimal ausgewählter Werkstoff eingesetzt werden kann. Für den Ventilteller von thermisch besonders hoch beanspruchten Auslassventilen kommen neben Keramiken auch intermetallische Phasen, z. B. Titanaluminid (TiAl), in Frage. Diese Werkstoffe besitzen neben einer hohen Temperaturfestigkeit und Verschleißbeständigkeit auch noch den Vorteil eines geringen spezifischen Gewichtes, was für den Einsatz bei hochfrequent oszillierenden Bauteilen sehr wichtig ist. Bei thermisch weniger stark beanspruchten Einlassventilen kommen – insbesondere aus Gewichts- und Kostengründen – Titan/Aluminiumlegierungen in Betracht.

[0003] Problematisch bei gebauten Ventilen ist jedoch die Verbindung zwischen den aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehenden Bauteilen. Die Werkstoffe sind entweder an sich nicht schweißbar (Keramik) oder untereinander nicht, zumindest nicht ohne weiteres verschweißbar (Stahl und TiAl oder Stahl und Ti/Al-Legierungen). Lötverbindungen alleine sind aus thermischen Gründen mechanisch nicht haltbar. Mechanische Verbindungen zwischen Schaft und Ventilteller scheitern häufig an einem Nachlassen der Vorspannung innerhalb der Verbindung. Es ist hierbei zum einen daran zu denken, dass während des Betriebes von Ventilen starke Temperaturschwankungen auftreten können, nämlich von extremen winterlichen Kältegraden im Motorstillstand bis zu mindestens etwa 800°C bei Vollast. Es ist ferner zu berücksichtigen, dass die unterschiedlichen Werkstoffe auch ein z. T. stark unterschiedliches thermisches Dehnungsverhalten aufweisen. Dadurch kann ein bei Raumtemperatur gegebener Spannungszustand innerhalb der Verbindung bei angehobenen Betriebstemperaturen reduziert, u. U. sogar ganz beseitigt werden. Wichtig ist aber, dass in allen Betriebszuständen, nämlich sowohl bei extrem niedrigen als auch bei extrem hohen Temperaturen, eine gewisse Mindest-Vorspannung innerhalb der Teller/Schaft-Verbindung erhalten bleibt, weil die Verbindung bei der dynamischen Beanspruchung sich sonst lockern würde, was schließlich den Bruch des Ventils an der Verbindungsstelle und mit ihm die Zerstörung des ganzen Motors zur Folge hätte.

[0004] Die US-PS 2 136 690 zeigt u. a. ein mehrteilig zusammengesetztes Vollschaftventil, bei dem der Ventilsitz mit einem verschleißfesten Werkstoff gepanzert ist. Die Panzerung besteht aus einer vorgefertigten, zentrisch gebohrten und am Außenrand konisch abgeschrägten Scheibe aus einem widerstandsfähigen und gut wärmeleitenden Verbundwerkstoff, wobei diese Panzerungsscheibe bis zum Rand des Ventiltellers ragt und die tellerseitige Dichtfläche bildet. Der Verbundwerkstoff ist durch eine Matrix aus einem zähen und leitfähigen, vorzugsweise Kupfer enthaltenden Metall gebildet, in die fein verteilt Partikel eines harten und widerstandsfähigen Werkstoffs wie z. B. Wolfram fest haftend eingelagert sind. Bei dem vorbekannten Ventil ist die der Panzerung dienende Scheibe gemeinsam mit einer brennraumseitig aufgelegten Stützscheibe aus herkömmlichen Ventilwerkstoff an das tellerseitige Ende des Ventilschaftes angeietet, wobei der Schaftwerkstoff als Niet dient. Der Ventilteller selber ist hier also für sich mehrteilig, nämlich aus zwei Scheiben ausgebildet. Zur axialen Abstützung des Ventiltellers ist am Ventilschaft eine Schulter ange-

schmiedet. Das tellerseitige Ende des Ventilschaftes ragt mit einem als Nietschaft dienenden Zapfen durch die zentrische Öffnung des Ventiltellers hindurch, wobei das äußerste Ende dieses Zapfens zu einem in einer Ansenkung des Ventiltellers sich erstreckenden Nietsenkkopf umgeformt ist.

[0005] Zwar ist der Ventilteller des aus der US-PS 2 136 690 bekannten Ventils in beiden Wirkrichtungen der Axialkraft – Druck und Zug – formschlüssig mit dem Ventilschaft verbunden. Nachteilig an dem vorbekannten Ventil ist jedoch, dass praktisch keine Vorspannkraft-Reserve in dem kurzen Nietschaft vorhanden ist. Die ursprüngliche Vorspannung bleibt also nur dann erhalten, wenn zwischen Teller und Schaft nur vernachlässigbar geringe Temperaturunterschiede bestehen und/oder wenn die für die Bauteile jeweils eingesetzten Werkstoffe einen annähernd übereinstimmenden Temperaturausdehnungskoeffizienten besitzen. Dies kann jedoch bei einer Paarung eines aus Stahl bestehenden Ventilschaftes mit einem Ventilteller aus Keramik oder mit einem solchen aus der intermetallischen Phase Titanaluminid oder aus einer Titan/Aluminium-Legierung, die außerdem recht unterschiedliche Elastizitätsmodule im Vergleich zum E-Modul von Stahl aufweisen, bei weitem nicht unterstellt werden.

[0006] Ein weiteres gebautes Ventil ist in der zwar älteren, aber nicht veröffentlichten DE 100 38 332 A1 gezeigt. Dabei weist der hohle oder massive Ventilschaft an der Übergangsstelle in den Ventilteller eine Schulter auf, mit der er sich druckfest am Ventilteller abstützt. Die durchgehende Mittenöffnung des Ventiltellers ist an ihrem brennraumseitigen Ende bzw. Rand konisch aufgeweitet. Nach dem Fügen von Schaft und Teller wird ein brennraumseitiger Überstand des Ventilschaftes in die konische Erweiterung nach Art eines Nietsenkkopfes zurückgestaucht. Bei der solcherart erzeugten Verbindung zwischen Ventilschaft und Ventilteller klemmt der Schaft den Teller zwischen Schulter und Anstauchung axial ein. Hierbei ergibt sich eine nur sehr geringe Vorspannkraftreserve, die bei Temperaturanstieg sehr rasch erschöpft ist, insbesondere dann, wenn der Werkstoff des Ventiltellers einen geringeren Temperaturausdehnungskoeffizienten hat als der Schaftwerkstoff.

[0007] Die EP 296 619 A1 zeigt ein gebautes Ventil mit Hohlshaft, dessen bauliche Komponenten aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen. Der rohrförmige Ventilschaft besteht vorzugsweise aus Chrom-Molybdän-Stahl und ist am tellerfernen Ende mit einem gesonderten Schaftendstück aus Keramik oder aus einem temperaturbeständigen martensitischen Stahl verschlossen. Der Ventilteller, der bevorzugt aus der intermetallischen Phase Titanaluminid bestehen soll, kann durch Präzisionsgießen hergestellt werden. Der fertige Ventilteller ist oberseitig mit einer Sacklochbohrung zur Aufnahme des tellerseitigen Schaftendes versehen. Durch Aufschrumpfen, kalt Einpressen, Lötten oder durch eine Kombination dieser Verbindungstechniken soll der Ventilschaft in der Sacklochbohrung befestigt werden. In einem der dort zeichnerisch dargestellten Ausführungsbeispiele ist die Leibung der Sacklochbohrung außerdem in Axialrichtung gewellt aber im Übrigen rotationssymmetrisch ausgebildet. Die endseitige Wandung des Schaftrohres soll unter dem Einfluss von Innendruck und örtlicher Erwärmung aufgeweitet werden, wobei sie sich formschlüssig in die bohrungsseitigen Wellen einlegen soll.

[0008] Nachteilig an dem aus der EP 296 619 A1 bekannten, gebauten Hohlshaftventil ist, dass für eine derartige Umformung extrem hohe Drücke entsprechend der Umformspannung des Werkstoffes im Warmzustand erforderlich wären. Derartig hohe Drücke könnten gasförmig nur durch Explosion eines kleinen Sprengsatzes erzeugt werden, der jedoch zum einen in den beengten Verhältnissen inner-

halb des Hohl Schaftes von 4 mm bis maximal 5 mm Innendurchmesser bei Ventilen für Pkw-Motoren gar nicht unterzubringen wäre und der im Warmzustand des Hohl Schaftes auch nicht zeitgenau gezündet werden könnte. Die hohe Umgebungswärme würde bei den engen Umgebungsverhältnissen den Sprengsatz durch Kontakterwärmung bereits beim Ladevorgang entzünden. Ein seriennmäßiger Einsatz derartiger hochexplosiver Treibsätze in der Fertigung würde erhebliche Risiken für die Menschen, die Maschinen und die Werkstücke beinhaltet und wäre sehr problematisch. Denkbar wäre auch, die hohen Drücke während der Warmumformung hydraulisch unter Verwendung eines flüssigen Metalls oder eines flüssigen Salzes als Übertragungsmediums zu erzeugen, was aber zur Vermeidung von austretenden Metaldämpfen und Badkorrosion ein aufwendiges Umformwerkzeug mit einer komplizierten und störanfälligen Kapselung, Schutzgaszufuhr und Schleusentechnik erfordern würde. Es ist auch fraglich, ob bei einem so ungünstigen Verhältnis von Wanddicke zu Durchmesser, wie es bei hohlen Ventilschaften vorliegt, eine Innenhochdruckumformung überhaupt möglich ist, d. h. ob die Innenhochdruckumformung etwa aufgrund der relativen Wanddicke nicht auf grundsätzliche Verfahrens- oder Machbarkeitsgrenzen stößt. Das aus der EP 296 619 A1 bekannte Ausführungsbeispiel mit einer formschlüssig gesicherten Verbindung zwischen Ventilschaft und Ventilteller kann daher aus praktischen Gründen nicht ernsthaft in Betracht kommen. Die anderen aus der EP 296 619 A1 bekannten, nicht formschlüssig gesicherten Teller/Schaft-Verbindungen dürften hingegen den sowohl in thermischer als auch in mechanischer Hinsicht ganz erheblichen statischen und dynamischen Belastungen nicht dauerhaft gewachsen sein.

[0009] Durch die zwar ältere, aber nicht veröffentlichte Offenlegungsschrift gemäß EP 1 193 375 A1 ist ein Ventil mit einem hohlen Ventilteller bekannt. Der mit dem massiven Ventilschaft monolithisch zusammenhängende Ventilkegel ist brennraumseitig auf einer möglichst großen Fläche ausgehöhlt, wobei die Höhlung des Ventilkegels am Außenumfang in eine kurze zylindrische Fläche übergeht. In diese zylindrische Fläche ist ein scheibenartiger Deckel eingesetzt und befestigt, der allerdings eine geringe Kontaktfläche, möglichst sogar einen thermischen Isolierspalt zum Ventilkegel haben soll. Mit dieser Ventilkonstruktion wird eine Temperaturabsenkung des Ventilkegels gegenüber dem thermisch besonders stark belasteten Deckel angestrebt, wodurch sich die Neigung zu einer Ventilverkokung reduzieren lässt.

[0010] Durch die DE 40 31 549 C1 ist es bekannt, für die Betätigung von Hubventilen erforderliche, aus Stahl bestehende Tassenstößel oder Kipphebel an der Einwirkungsstelle der Nockenwelle mit einer aufgelöteten Keramikplatte zu panzern und thermische Spannungen in der Lötfläche durch eine in den Lötspalt eingebrachte Zwischenlage aus einer Formgedächtnislegierung in einer Lagenstärke von 0,1 bis 0,6 mm abzubauen. Diese technische Lehre mag zwar bei thermisch nicht, sondern nur bezüglich Verschleiß beanspruchten Tassenstößel oder Kipphebel und im übrigen bei im wesentlichen ebenen Übergangs- bzw. Kontaktstellen der unterschiedlichen Werkstoffe sinnvoll sein, bei denen die Relativdehnungen parallel zur Kontaktebene erfolgen. Jedoch ist dieser Gedanke nicht auf gebaute Hubventile übertragbar, die zum einen thermisch bis in die Nähe des Erweichungspunktes des Lotes beansprucht sind und bei denen die Relativdehnung auch quer zur Kontaktstelle zwischen den aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehenden Komponenten erfolgt.

[0011] Ausgehend von diesem Stand der Technik besteht die Aufgabe der Erfindung darin, ein gebautes Ventil bzw.

ein entsprechende Herstellungsverfahren aufzuzeigen, dass zum einen die Vorspannung innerhalb der Verbindung zwischen Ventilteller und Ventilschaft im gesamten, während des Betriebes oder Stillstandes der Hubkolbenmaschine auftretenden Temperaturbereiches zumindest auf einem ausreichend hohen Mindestniveau erhalten bleibt und dass zum anderen die Verbindung unter Einsatz beherrschbarer Fertigungsverfahren auch tatsächlich seriennmäßig herstellbar ist.

[0012] Diese Aufgabe wird bezüglich der Ausbildung des Ventils selber erfindungsgemäß auf zweierlei Weise, nämlich zum einen durch die Gesamtheit der Merkmale von Anspruch 1 und zum anderen durch die Gesamtheit der Merkmale von Anspruch 2 und bezüglich des Verfahrens entsprechend der beiden unterschiedlichen Ventil-Lösungen ebenfalls auf zweierlei Weise, nämlich zum einen durch die Gesamtheit der Merkmale von Anspruch 14, und zwar in soweit bezüglich des Ventils nach Anspruch 1, und zum anderen durch die Gesamtheit der Merkmale von Anspruch 25, in soweit bezüglich des Ventils nach Anspruch 2, gelöst.

[0013] Der eine Lösungsweg ist insbesondere für solche Werkstoffpaarungen des gebauten Ventils zu empfehlen, bei denen der Werkstoff des Ventiltellers sich thermisch weniger stark dehnt als der Schaftwerkstoff. Der Erfindungsgedanke dieses Lösungswegs besteht darin, eine thermisch bedingte Lockerung der Vorspannung in der Verbindungsstelle dadurch zu vermeiden, dass es der Ventilteller ist, der eine schaftseitige Verdickung übergreift und einklemmt. Durch eine Erwärmung des gebauten Ventils nimmt die Vorspannung in der Verbindungsstelle mit der Temperatur zu. Die radiale Aufweitung des Schaftes in die tellerseitige Erweiterung hinein wird durch ein axiales Stauchen des Schaftwerkstoffes bewirkt. Der erwärmte und plastifizierte Schaftwerkstoff dient gewissermaßen als Übertragungsmedium, um innerhalb der sich erweiternden Mittenöffnung des Ventiltellers die radiale Aufweitung des Ventilschaftes zu bewirken.

[0014] Der andere Lösungsweg ist hingegen – unabhängig vom Temperaturdehnungsverhalten der beteiligten Werkstoffe – für solche 4 gebauten Ventile zu empfehlen, bei denen der Ventilteller aus einem schweißbaren Werkstoff bestehen kann, wobei ein geringeres Temperaturdehnungsverhalten beim Tellerwerkstoff selbstverständlich von Vorteil wäre. Der Erfindungsgedanke dieses zweiten Lösungswegs besteht darin, eine ausreichende Vorspannkraftreserve durch eine Bauteilelastizität innerhalb des Ventiltellers, d. h. in dem membranartigen Boden des hohlen und in sich nichtteiligen Ventiltellers, zu schaffen.

[0015] Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden; im übrigen ist die Erfindung anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels nachfolgend noch erläutert; dabei zeigen:

[0016] Fig. 1 einen partiellen Längsschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäß ausgestalteten gebauten Ventils mit Vollquerschnitt-Schaft und Keramikteller, der seinerseits aus zwei Teilen zusammengesetzt ist,

[0017] Fig. 2 einen Längsschnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel eines gebauten Ventils gemäß der Erfindung mit Hohl Schaft und einem monolithischen Keramikteller,

[0018] Fig. 3 einen Längsschnitt durch ein drittes Ausführungsbeispiel eines gebauten Ventils mit Voll Schaft und einem hohlen, gebauten Keramikteller aus einem schweißbaren Werkstoff, wobei der Tellerboden eine elastisch gespannte Membran ist,

[0019] Fig. 4 eine Modifikation des Ausführungsbeispiels nach Fig. 3, wobei bei diesem gebauten Ventil der im Roll-

fließverfahren hergestellte Ventilschaft hohl ausgebildet ist, [0020] Fig. 5 einen Querschnitt durch ein Preßwerkzeug zum Pressen eines Grünlings aus einem Keramikpulver zur Herstellung eines einteiligen Keramiktellern nach Fig. 2, wobei die Erweiterung der Mittenöffnung des Keramiktellern durch einen partiell aus einem elastisch verformbaren Gummi bestehenden Bolzen während der Verdichtung des Keramikpulvers geformt wird, und

[0021] Fig. 6 einen Querschnitt durch ein Sonderwerkzeug und den Vorgang des Stauchens des hohlen Ventilschaftes während des Fügens von Ventilschaft und Ventilteller bei der Herstellung des Ventils nach Fig. 2.

[0022] Zunächst soll im Zusammenhang mit den Fig. 1 und 2 auf zwei Varianten gemäß eines ersten erfindungsgemäßen Lösungsweges für gebaute Ventile von Hubkolbenmaschinen eingegangen werden. Diese beiden Varianten von gebauten Ventilen 1 bzw. 11 bestehen jeweils aus einem Ventilschaft 2, 12 und aus einem baulich gesonderten Ventilteller 3, 13. Letzterer ist mit jeweils einer Mittenöffnung 4 bzw. 14 zur Aufnahme des tellerseitigen Endes des Ventilschaftes versehen. Innerhalb der Mittenöffnung ist wenigstens eine Erweiterung 5 bzw. 15 vorgesehen, die sich in Umfangsrichtung erstreckt und vorzugsweise rotationssymmetrisch ausgebildet ist. Am tellerseitigen Ende des Ventilschaftes ist wenigstens eine Verdickung 6 bzw. 16 angebracht, die in die Erweiterung der Mittenöffnung formschlüssig eingreift, so daß eine sowohl in Druck- als auch in Zugrichtung belastbare, als auch verkantungssichere Verbindung zwischen dem Ventilschaft und dem Ventilteller zustande kommt. Im Fall einer unrunder Ausbildung der Erweiterung 5, 15 käme beim Anstauchen des Ventilschaftes sogar eine formschlüssige Verdrehungssicherung innerhalb der Verbindung zustande.

[0023] Um bei den gebauten Ventilen 1 bzw. 11 zumindest ein gewisses Mindestniveau an Vorspannung innerhalb der Verbindung zwischen Ventilteller 3, 13 und Ventilschaft 2, 12 im gesamten, während des Betriebes oder Stillstandes der Hubkolbenmaschine auftretenden Temperaturbereiches gewährleisten zu können, um aber zugleich auch eine serienmäßige Herstellbarkeit der Ventile unter Einsatz beherrschbarer und kostengünstiger Fertigungsverfahren sicherstellen zu können, sind erfindungsgemäß gewisse weitere Merkmale an den gebauten Ventilen vorgesehen, die – soweit die Übereinstimmung reicht – nachfolgend für beide Ventilvarianten 1 bzw. 11 gemeinsam behandelt werden sollen.

[0024] Und zwar ist die Mittenöffnung 4, 14 des Ventiltellers bis zu seiner Brennraumseite durchgehend ausgebildet, d. h. die Mittenöffnung 4, 14 ist an der Brennraumseite offen. Außerdem ist die sich in Umfangsrichtung erstreckende Erweiterung 5, 15 der Mittenöffnung in ihrem Querschnitt entsprechend einer sich beim axialen Warmstauchen einstellenden freien Materialverdickung mit harmonisch gerundeten Übergängen ausgebildet. Aufgrund der durchgehenden Ausbildung der Mittenöffnung und der harmonischen Gestaltung der darin angebrachten Erweiterung kann die schaftseitige Verdickung 6, 16 als eine axiale Stauchung des Materialquerschnittes des strichpunktiert angedeuteten Schaftrohlings 2', 12' ausgebildet bzw. hergestellt werden.

[0025] Der Lösungsweg dieser beiden Ventilvarianten, bei denen der Ventilteller 3, 13 eine schaftseitige Verdickung 6, 16 übergreift und axial einklemmt, wird für solche Werkstoffpaarungen des gebauten Ventils 1, 11 empfohlen, bei denen der Werkstoff des Ventiltellers sich thermisch weniger stark dehnt als der aus Stahl bestehende Ventilschaft. Für den Ventilteller kommen neben Keramik, hier insbesondere Siliciumnitrid, auch die intermetallische Phase Titanaluminid und Titan/Aluminium-Legierungen in Frage, deren Temperaturexpansionskoeffizienten  $\alpha$  unter 11,5 ppm/K –

dem Wert für Stahl – liegen. Beispielsweise beträgt der Wert für die Keramiksorte Zirkondioxid je nach Herstellungsart  $\alpha = 9,0\text{--}11,0$  ppm/K, für Siliciumcarbid:  $\alpha = 4,0\text{--}4,5$  ppm/K, für Siliciumnitrid:  $\alpha = 3,3$  ppm/K. Für die intermetallischen Phase Titanaluminid ist der Temperaturexpansionskoeffizient  $\alpha$  temperaturabhängig und beträgt bei Raumtemperatur  $\alpha = 8$  ppm/K und bei etwa 700°C  $\alpha = 14$  ppm/K. Bei den hier geeigneten Titan/Aluminium-Legierungen ist der Temperaturexpansionskoeffizient  $\alpha$  zwar relativ groß, aber liegt noch unter dem Wert für Stahl (z. B. TiAl6V4:  $\alpha = 9,3$  ppm/K oder TiAl46, 5Cr4NiTaB:  $\alpha = 11$  ppm/K). Dadurch, daß der sich thermisch stärker dehrende Schaft am Teller nicht nur radial, sondern auch axial eingeklemmt wird, kann eine thermisch bedingte Lockerung der Vorspannung in der Verbindungsstelle zuverlässig vermieden werden. Durch eine betriebsbedingte Erwärmung des gebauten Ventils nimmt die Vorspannung in der Verbindungsstelle mit der Temperatur sogar noch gegenüber der bei Raumtemperatur vorliegenden Vorspannung zu.

[0026] Zum Herstellen des gebauten Ventils 1 bzw. 11 wird der zunächst noch zylindrische Schaftrohring 2' bzw. 12' axial in die Mittenöffnung 4, 14 soweit eingeführt, daß sich ein gewisser wohl abgestimmter Überstand auf der Brennraumseite des Ventiltellers 3, 13 ergibt. Das Volumen dieses Überstandes entspricht dem Volumen der Erweiterung 5, 15 in der Mittenöffnung. Im übrigen ist der Schaftrohring um diesen Überstand länger als das Fertig-Rohmaß des Ventilschaftes 2, 12. Der zum Fügen der Verbindungsstelle in den Ventilteller eingeführte Schaftrohring 2', 12' ist, lokal auf den innerhalb des Ventiltellers befindlichen Bereich beschränkt, auf Warmumformtemperatur des Schaftwerkstoffes erwärmt; die außerhalb dieses Bereiches liegenden Partien des Schaftrohlings sind deutlich kälter und lassen sich unter der obwaltenden Krafteinwirkung nicht plastisch verformen. Durch axialen Druck auf den lokal erwärmten Schaftrohring wird an ihn die Verdickung 6 bzw. 16 angestaucht, wobei die Anstauchung selbsttätig die tellerseitige Erweiterung 5 bzw. 15 vollständig ausfüllt. Der erwärmte und plastifizierte Schaftwerkstoff dient innerhalb des Umformungsbereiches gewissermaßen als Übertragungsmedium, um innerhalb der sich erweiternden Mittenöffnung des Ventiltellers die radiale Aufweitung des Ventilschaftes zu bewirken, wogegen die außerhalb des Ventiltellers befindliche abgestützte Schaftpartie gewissermaßen als Druckstößel dient.

[0027] Um ein thermisches Lockern der Verbindung bei der anschließenden Abkühlung des Ventilschaftes zu vermeiden, wird vor und während des Stauchens des Schaftrohlings auch der Ventilteller 3, 13 mindestens auf Warmumformtemperatur des Werkstoffes des Schaftrohlings erwärmt. Je höher der Ventilteller erwärmt wird, um so höher ist die sich bei Raumtemperatur einstellende Vorspannung innerhalb der Verbindung. Wie nachfolgend im Zusammenhang mit Fig. 6 näher ausgeführt wird, kann der Ventilteller vor und während des Stauchens des Schaftrohlings z. B. durch radial auf ihn gerichtete, offene Flammen aus Brennern 56 erwärmt werden.

[0028] Das Herstellen der Stauchverbindung zwischen Ventilteller und Schaft sei am Beispiel des Werkzeuges nach Fig. 6 und am Beispiel des in soweit etwas komplizierteren Hohl Schaftventils 11 nach Fig. 2 nachfolgend näher erläutert. Das Anstauchen der Verdickung 6 an dem Vollschaftventil 1 dürfte zumindest nach Kenntnis des Herstellungsverfahrens für das Hohl Schaftventils 11 in keiner Weise mehr problematisch sein, weil dieses Verfahren sinngemäß und mit den für sich sprechenden bzw. selbstverständlichen Modifikationen auf die Herstellung des Vollschaftventils 1 übertragbar ist.

[0029] Das in Fig. 6 im geschlossenen Zustand dargestellte Umformwerkzeug ist in ein auf dem Pressentisch 57 einer Umformpresse befestigtes unteres Stützwerkzeug 50 und in ein am hubbeweglichen Pressenstößel angeordnetes oberes Stützwerkzeug 51 geteilt, welches letzteres zu Beginn des Arbeitshubes lagegenau auf das untere, beschickte Stützwerkzeug abgesenkt wird. In einer im oberen Stützwerkzeug angebrachten Führung ist ein Stempel 53 axialbeweglich geführt, der den eigentlichen Arbeitshub beim Stauchvorgang ausführt, während das obere Stützwerkzeug unbeweglich aber mit einer gewissen Andrückkraft auf dem unteren Stützwerkzeug anliegt. Der Stempel 53 ist also gegenüber dem oberen Stützwerkzeug verschiebbar.

[0030] Im unteren Stützwerkzeug ist in einer oberen Aussparung der Ventilteller 13 eines neu herzustellenden Ventils 11 lagedefiniert mit nach oben weisender Brennraumseite aufgenommen. In einer abgestimmten Bohrung des Stützwerkzeugs kann der lokal vorerwärmte Ventilschaftrohrhling 12' eingesteckt werden, der unterseitig in einer solchen Axialposition unnachgiebig abgestützt ist, daß der Ventilschaftrohrhling an der Brennraumseite des Ventiltellers zunächst um ein bestimmtes Maß übersteht. In das Innere des hohlen Ventilschaftrohrhlings ist ein Stützdorn 53 eingesteckt, der bündig mit der oberen Stirnseite des Ventilschaftrohrhlings abschließt. Er ist mit einer gewissen Vorspannung in den hohlen Ventilschaftrohrhling eingesteckt so daß er schwerkraftbedingt nicht herausfallen kann, läßt sich jedoch während des Arbeitshubes ohne weiteres im Ventilschaftrohrhling axial verschieben. An der betreffenden Stelle ist im unteren Stützwerkzeug 50 und/oder im Pressentisch 57 eine Öffnung vorgesehen, so daß der Stützdorn beim Arbeitshub behinderungsfrei nach unten ausweichen kann.

[0031] Um den axial eingeführten, lokal vorerwärmten Schaftrohrhling – er hat eine nur geringe Masse und kühlt daher relativ rasch ab – lokal auf Umformtemperatur halten zu können, ist bei dem in Fig. 6 dargestellten Ausführungsbeispiel eine widerstandselektrische Beheizung des Ventilschaftrohrhlings 12' vorgesehen. Dazu ist im oberen und im unteren Stützwerkzeug 51 bzw. 50 jeweils ein Kontakttring 54 in das jeweilige Stützwerkzeug elektrisch isoliert eingelassen. Je einer der Kontakttringe ist mit einem Pol einer elektrischen und leistungsfähigen Spannungsquelle 55 verbunden. Durch axialen Druck der aufeinander liegenden Stützwerkzeuge 51 bzw. 50 kommt es zu einer elektrisch gut leitenden Kontaktierung zwischen Kontakttring und Ventilschaftrohrhling 12', so daß ein hoher Strom axial durch diesen hindurch fließt, der den Ventilschaftrohrhling auf dem kurzen, zwischen den Kontakttringen liegenden Bereich widerstandselektrisch erwärmt.

[0032] Um den vorzugsweise vorerwärmten, insbesondere aus Keramik bestehenden Ventilteller 13 während der Vorbereitungszeit und während des Fügevorganges ebenfalls ausreichend warm halten zu können, sind in mehreren horizontalen Aussparungen des unteren Stützwerkzeuges radial auf den Ventilteller ausgerichtete Brenner 56 angeordnet, die jeweils offene Flamme auf den Ventilteller richten und ihn warm halten.

[0033] Nach dem Beschicken des unteren Stützwerkzeuges 50 mit dem vorerwärmten Ventilteller 13 und mit dem lokal vorerwärmten und mit dem Stützdorn 52 versehenen Ventilschaftrohrhling 12' wird das obere Stützwerkzeug auf das untere abgesenkt. Es kann in diesem Zwischenstadium eine gewisse Pause im Ablauf des Pressenzyklus vorgesehen werden, um den Ventilteller und/oder den Ventilschaftrohrhling auf die erforderliche Prozeßtemperatur zu erwärmen. Sobald die erforderlichen Temperaturen erreicht sind, kann der Pressenzyklus fortgesetzt und der eigentliche Stauchvorgang durchgeführt werden. Durch den innerhalb

des geschlossenen Stützwerkzeuges niedergehenden Stempel 53 wird der erwärmte Schaftwerkstoff in die tellerseitige Erweiterung 15 der Mittenöffnung 14 hineingestaucht, was durch die in Fig. 6 gezeigte partielle Anstauchung 58 angedeutet ist. Der Stützdorn verhindert ein radial nach innen gerichtetes Ausweichen des erwärmten Werkstoff; der Stützdorn weicht beim Stauchvorgang nach unten aus. Bei Vollendung des Pressenhubes ist der gesamte Überstand des Ventilschaftrohrhlings in die Erweiterung 15 hineingestaucht und die erzeugte Anstauchung füllt diese vollständig aus. Anschließend wird das Umformwerkzeug durch Hochfahren des Pressenstößels und des Stempels geöffnet und das fertig gestellte Ventil gemeinsam mit dem Stützdorn 53 aus dem unteren Stützwerkzeug entnommen und in eine Abkühlstrecke abgelegt. Die Vorrichtung ist dann bereit für ein neues Arbeitsspiel. Nach Abkühlung des Ventils kann der Stützdorn 53 dem Hohlraum entnommen und zur Bestückung eines neuen Schaftrohrhlings verwendet werden. Das gebaute Ventil kann dann fertig bearbeitet, insbesondere kann ein Ventilentstück 12" angeschweißt (Schweißnaht 17) und an der Brennraumseite ein Verschlußstück eingeschweißt werden.

[0034] Die beiden Lösungsvarianten nach den Fig. 1 und 2 setzen eine Erweiterung 5 bzw. 15 der Mittenöffnung 4, 14, also hinterschnittene Öffnung voraus. Hinterschnitten sind aber – wie man weiß – nicht ohne weiteres herstellbar, insbesondere wenn es sich um Werkstücke aus einem schwierig bearbeitbaren Werkstoff handelt. Deshalb seien nachfolgend auch noch verschiedene Möglichkeiten zur Herstellung der Erweiterung 5 bzw. 15 der Mittenöffnung 4, 14 behandelt.

[0035] Wie beim Ausführungsbeispiel des Ventils 1 nach Fig. 1 gezeigt ist, kann der aus einer Keramik bestehende Ventilteller 3 seinerseits aus zwei durch Sintern miteinander verbundenen Formteilen 7, 8 hergestellt sein, wobei eine Teilungsfuge zwischen den beiden Formteilen 7, 8 axial an der Position des größten Durchmessers der sich in Umfangsrichtung erstreckende Erweiterung 5 liegt.

[0036] Um eine hoch belastbare Verbindung zwischen den beiden Formteilen 7, 8 des Ventiltellers 3 zu schaffen, sollten diese zum einen beide aus der selben Keramik bestehen. Ferner wird die Fuge, entlang der die beiden Formteile 7, 8 miteinander verbunden sind, mit einem bei Erschmelzung chemisch irreversibel mit der verwendeten Keramik reagierenden Metall und/oder metallähnlichen Element oder mit einer darauf basierenden Legierung dotiert. Dadurch entsteht eine innige, nahezu stoffschlüssige Verbindung auf einer keramik-ähnlichen Basis, die zumindest thermisch ähnlich hoch belastbar ist wie die Keramik selber.

[0037] Es ist auch an den Fall zu denken, daß der Ventilteller aus einer intermetallischen Phase Titanaluminid besteht. Dieser Werkstoff kann praktisch nur durch Gießen geformt werden; darüber hinaus kann Titanaluminid mit sich selber verschweißt oder verlötet werden. Im Fall eines mehrteiligen Ventiltellers 3 aus Titanaluminid werden also die beiden, für sich jeweils im Gießverfahren hergestellten Formteile 7, 8 miteinander verschweißt bzw. verlötet.

[0038] Um eine gute gegenseitige Zentrierung der beiden Formteile gewährleisten zu können, sind diese durch eine im Außenbereich angenähert zylindrische Teilungsfuge mit geringer Konizität zueinander zentriert.

[0039] Bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Ventilteller einteilig ausgebildet. In diesem Fall kann die innerhalb der Mittenöffnung 14 sich in Umfangsrichtung erstreckende Erweiterung 15 durch einen entsprechend geformten, verlorenen Kern erzeugt werden. Und zwar ist dies nicht nur bei Ventiltellern aus einem gießbaren Werkstoff (Titanaluminid oder Titan/Aluminium-Legierung

gen) möglich, sondern auch bei Keramik-Tellern.

[0040] Zur Herstellung von Keramik-Tellern oder Sintertellern auf Metallpulverbasis wird zunächst aus einem sinterbaren Pulver in einem Formwerkzeug ein Formkörper – sog. Grünling – gepreßt und dieser anschließend gebrannt. Um bei dem Grünling eine hinterschnittene Erweiterung 15 abformen zu können, kann ein formstabiler, verllorener Kern aus kunstharzgebundenen Pulver, aus einem niedrig schmelzenden Metall oder aus Salz verwendet werden. Durch eine Wärmebehandlung des Grünlings vor dem Brennen wird der Kern pyrolysiert oder geschmolzen und so der Grünling von dem verlorenen Kern befreit.

[0041] Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung eines einteiligen Grünlings mit hinterschnittener Erweiterung 15 bei einem im Sinterverfahren hergestellten Ventilteller ist in Fig. 5 angedeutet. Dort ist ein aus Matrize 41 und Patrize 42 gebildetes Formwerkzeug zum Abformen eines Ventilteller-Grünlings gezeigt, wobei die Matrize 41 auf dem Pressentisch 46 und die Patrize 42 gleichachsig am Pressenstößel einer Formpresse befestigt ist. Zentrisch in der Gravur bzw. Kavität der Matrize ist ein nach oben aufragender Kernbolzen 43 angeordnet, der aus unterschiedlichen Werkstoffen besteht. Und zwar besteht der Kernbolzen in dem axial der abzuformenden Erweiterung zugeordneten Bereich 45 und 45' aus einem gummielastischen Werkstoff, wogegen die außerhalb davon liegenden Bereiche 44 des Kernbolzens aus Stahl bestehen. Bei dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel sind für den gummielastischen Teil des Kernbolzens zwei unterschiedliche Bereiche 45 und 45' vorgesehen, und zwar ist in den Übergangsbereichen 45' zu den beiden Stahlteilen 44 hin jeweils ein härteres Gummi und in dem dazwischen liegenden, mittleren Bereich 45 ein weiches Gummi vorgesehen, das sich unter axialer Krafteinwirkung auf den Kernbolzen stärker verformt als das Gummi in den Bereichen 45'.

[0042] Im entspannten Zustand ist der Kernbolzen zylindrisch und ragt deutlich bis oberhalb des Füllstandes für die abgestimmte Menge an zunächst lose eingeschüttetem Sinterpulver hinaus. Dieses Füllniveau ist in Fig. 5 durch eine ungerade strichpunktierte Linie angedeutet. Die unterseitig im wesentlichen eben gestaltete Patrize 42 weist mittig eine Sacklochbohrung 48 auf, die im Durchmesser auf den Kernbolzen und in der Tiefe auf die Einfüllmenge an Sinterpulver in der Patrize und auf die Länge des Kernbolzens abgestimmt ist.

[0043] Beim Absenken der Patrize 42 auf die Matrize 41 wird zunächst das obere aus Stahl bestehende Ende des Kernbolzens axial in die Sacklochbohrung 48 der Patrize und anschließend die Patrize insgesamt in die oben zylindrische Tasse der Matrize eingeführt. Bevor die obere Stirnseite des Kernbolzens den Grund der Sacklochbohrung erreicht, berührt die Patrize mit ihrer ebenen Unterseite das Füllniveau des lose eingefüllten Sinterpulvers, welches bei weiterem Absenken der Patrize leicht verdichtet wird, ohne daß der Kernbolzen seine zylindrische Form verändert. Der Zustand, bei dem die obere Stirnseite des Kernbolzens den Grund der Sacklochbohrung berührt, ist in Fig. 5 mit geraden strichpunktierten Linien angedeutet. Bei weiterem Absenken der Patrize wird nicht nur das Sinterpulver weiter verdichtet, sondern auch der im Mittelteil 45 und 45' gummielastisch ausgebildete Kernbolzen durch eine elastische Stauchung tonnenförmig verformt, wie dies in Fig. 5 in vollen Linien angedeutet ist. Mit zunehmender Absenkung der Patrize wird das Sinterpulver weiter verdichtet, zugleich aber auch die tonnenförmige Ausbauchung des Mittelbereiches 45, 45' weiter verstärkt, was durch verschiedene strichpunktierte Linien angedeutet ist. Dabei wird nicht nur die hinterschnittene Erweiterung der Mittenöffnung im Grün-

ling abgeformt, sondern es findet dadurch zugleich auch eine radiale Verdichtung des Sinterpulvers statt. Hat die Patrize ihre ebenfalls strichpunktiert angedeutete Endstellung und die Ausbauchung ihre Maximalform erreicht, so kann nach einer gewissen Verweilzeit die Presse vorsichtig geöffnet werden. Durch die axiale Entlastung des Kernbolzens schlüpft der verformte gummielastische Teil 45, 45' axial aus der abgeformten Erweiterung heraus und es bildet sich die zylindrische Form des Kernbolzens wieder zurück. Soweit bei diesem Herausgleiten des axial elastisch gestauchten Kernbolzens aus der im Grünling geschaffenen Erweiterung auch ein axialer Druck auf den Grünling ausgeübt wird, wirkt sich dieser im Sinne eines Herausdrückens des Grünlings aus der tassenförmigen Kavität der Patrize aus. Sobald der gummielastische Teil des Kernbolzens seine zylindrische Form wieder erlangt hat, kann der gepreßte Grünling der Patrize entnommen werden. Nach dem Reinigen der Patrize und des Kernbolzens ist die Vorrichtung für ein neues Arbeitsspiel bereit.

[0044] Alternativ oder zusätzlich zu einer axialen Stauchung und tonnenförmigen Ausbauchung des mittleren, gummielastischen Teils 45, 45' des Kernbolzens 43 kann auch noch eine hydraulische Aufweitung dieses mittleren Kernbolzenteils vorgesehen werden. In diesem Fall müßte in dem weichen, gummielastischen Teil 45 des Kernbolzens zentrisch eine mit einer Hydraulikflüssigkeit gefüllte, im wesentlichen kugelförmige Höhlung, gewissermaßen eine Blase mit einem nach außen führenden Leitungsanschluß vorgesehen sein. Diese Blase könnte dann von außen zu einem hubunabhängigen Zeitpunkt innerhalb des Preßzyklus mit einem Druck eines bestimmten zeitlichen bzw. hubabhängigen Verlaufes beaufschlagt werden, wodurch ebenfalls eine tonnenförmige Ausbauchung des mittleren, gummielastischen Teils 45 des Kernbolzens erreicht werden könnte. Eine hydraulische Aufweitung des mittleren Kernbolzenteils ist zwar baulich komplizierter als eine rein hubabhängig veranlaßte Aufweitung mit einem passiven und massiven Gummiteil 45, 45', jedoch hat ein ausschließlich hydraulisch beaufschlagbares und aufweitbares Gummiteil den Vorteil, daß nicht nur die Aufweitung des Gummiteils, sondern auch die Rückbildung derselben zu einer zylindrischen Form hubunabhängig veranlaßt werden kann.

[0045] Nachfolgend soll nun noch der andere Weg der Erfindung zur Lösung der zugrunde liegenden Aufgabe anhand der in den Fig. 3 und 5 dargestellten Ausführungsbeispiele erläutert werden, wobei die dort gezeigten Ventile 21 bzw. 31 zunächst wieder bezüglich ihrer prinzipiellen Übereinstimmungen vorgestellt werden. Diese Ventile setzen voraus, daß der Ventilteller mehrteilig ausgebildet ist und aus einem schweißbaren Werkstoff besteht, wobei beim Tellerwerkstoff ein geringerer Temperaturelängungskoeffizient als beim Schaftwerkstoff (Stahl) zwar nicht Voraussetzung aber selbstverständlich vorteilhaft ist. Es soll in dem hohlen und in sich mehrteiligen Ventilteller durch eine Bauteilelastizität innerhalb dieses Bauteils, d. h. in dem membranartigen Boden des Ventiltellers, eine ausreichende Vorspannkraftreserve geschaffen werden.

[0046] Zu diesem Zweck ist bei beiden Ventilvarianten nach den Fig. 3 und 4 übereinstimmend der mehrteilige, als Hohlkörper ausgebildete Ventilteller 23 bzw. 33 aus einem kegelförmigen Oberteil 27, 37 und aus einem scheibenförmigen Tellerboden 28, 38 zusammengesetzt, wobei die beiden Teile 27 und 28 bzw. 37 und 38 entlang einer ringförmigen Schweißnaht 29, 29', 39 miteinander verschweißt sind. Nur am kegelförmigen Oberteil 27, 37 ist oberseitig eine Mittenöffnung 24, 34 zur Durchführung des Ventilschaftes vorgesehen. Die axiale Bauteilelastizität des Tellerbodens 28, 38 ist wesentlich größer als die axiale Bauteilelastizität

des in soweit möglichst steifen, kegelförmigen Oberteils 27, 37. In dem in den Hohlkörper 23, 33 hineinragenden Teil des Ventilschafts 22, 32 ist nahe des tellerseitigen Endes ein radial absteigender Bund 26, 36 angeordnet. Die oberseitige Querschnittskontur 26', 36' des Bundes stimmt mit der innenseitigen Querschnittskontur 25, 35 des Hohlraums des kegelförmigen Oberteils 27, 37 überein, so daß der Bund innenseitig am kegelförmigen Oberteils vollflächig und unter mechanischer Vorspannung anliegen kann. Der Abstand der oberseitigen Querschnittskontur 26', 36' des radial absteigenden Bundes 26, 36 vom tellernahen Ende des Ventilschaftes 22, 32 ist um ein bestimmtes, innerhalb der Bauteilelastizität des Tellerbodens 28, 38 liegendes Maß A größer als der lichte axiale Freiraum innerhalb des geschlossenen Hohlkörpers des Ventiltellers 32, 33, wie dies in der Vergrößerung eines Details in Fig. 3 angedeutet ist. Nach dem Fügen von kegelförmigen Oberteil 27, 37, Ventilschaft 22, 32 und Tellerboden 28, 38 wird letzterer in der Weise axial verspannt, daß der Rand des Tellerbodens 28, 38 und der Rand des kegelförmigen Oberteils 27, 37 unmittelbar aufeinander liegen. Im axial verspannten Zustand von kegelförmigen Oberteil und Tellerboden wird die ringförmigen Schweißnaht 29, 29', 39 gelegt. In dem so hergestellten Einbauzustand steht der Tellerboden 28, 38 axial unter einer hohen mechanischen Biege-Vorspannung. Die Stirnseite des Ventilschaftes 22, 32 stützt sich dabei axial unter mechanischer Vorspannung zentrisch an der Innenseite des Tellerbodens 28, 38 ab.

[0047] Durch die Bauteilelastizität des vorgespannten, membranartigen Tellerbodens an dem hohlen Ventilteller wird eine ausreichend hohe Vorspannkraftreserve innerhalb der Verbindung zwischen Ventilschaft 22 bzw. 32 einerseits und Ventilteller 23 bzw. 33 andererseits geschaffen. Aufgrund dieser Vorspannkraftreserve bleibt innerhalb des gesamten, vorkommenden Temperaturspektrums stets eine ausreichend hohe Vorspannung in der Verbindung erhalten. Es kommt hinzu, daß der Temperatursdehnungskoeffizient  $\alpha$  der für den Ventilteller verwendeten, schweißbaren Leichtbauwerkstoffe, wie Titanaluminid oder Titan/Aluminium-Legierung, niedriger ist als der von Stahl, dem Werkstoff des Ventilschaftes. Aufgrund dieser unterschiedlichen Temperaturdehnungen der verbundenen Teile kommt es mit zunehmender Temperatur zu einer Erhöhung der Vorspannung in der Verbindung.

[0048] Bevor auf die Besonderheiten der einzelnen, bisher gemeinsam geschilderten Ventile 21 bzw. 31 eingegangen wird, sei vorab der Vollständigkeit halber noch auf die ringförmige Schweißnaht 29 bzw. 39 näher eingegangen. In beiden Ausführungsbeispiel der Fig. 3 und 4 erstrecken sich die Schweißfuge und die ihr folgende Schweißnaht 29 zwischen dem scheibenförmigen Tellerboden 28, 38 und dem kegelförmigen Oberteil 27, 37 des hohlen Ventiltellers 23, 33 entlang einer zylindrischen oder konischen Fläche. In Fig. 3 ist eine Alternativform bzw. -lage der Schweißfuge bzw. Schweißnaht 29' strichpunktiert angedeutet, die grundsätzlich auch für das Hohlenschaftventil 32 nach Fig. 4 in Frage kommen könnte. Bei dieser strichpunktiert angedeuteten Alternative erstrecken sich die Schweißfuge und die ihr folgende Schweißnaht 29' zwischen dem scheibenförmigen Tellerboden 28 und dem kegelförmigen Oberteil 27 des hohlen Ventiltellers 23 in einer achsenkrechten Ebene. Der Vorteil dieser Alternative besteht in einer geringfügig größeren Biege-"länge" des membranartigen Tellerbodens im Vergleich zu der in vollen Linien dargestellten Alternative, was eine höhere Vorspannkraftreserve erwarten läßt. Nachteilig daran ist jedoch, daß die Schweißnaht von ihrer Wurzel her im Sinne eines Spreizens der verschweißten Teile beansprucht wird, was eine besonders ungünstige Belastungs-

form für Schweißnähte darstellt. Außerdem liegt die Schweißnaht bedenklich nahe an der mechanisch hoch beanspruchten Dichtfläche des Ventiltellers. Bezüglich beider Gesichtspunkte stellt die in vollen Linien dargestellte Alternative die vorteilhaftere Lösung dar.

[0049] Um den Ventilteller verkantungssicher am Ventilschaftende befestigen zu können, ist es von Vorteil, wenn die axial unter mechanischer Vorspannung sich zentrisch an der Innenseite des Tellerbodens 28, 38 abstützende Stirnseite des Ventilschaftes 22, 32 am Tellerboden 28, 38 mechanisch zentriert ist. Bei dem Vollschaftventil 21 nach Fig. 3 geschieht dies durch einen am Schaftende angeordneten Zentrierzapfen 30, der formschlüssig in eine abgestimmte Zentrierbohrung 20 auf der Innenseite des Tellerbodens 28 eingreift. Bei dem Hohlenschaftventil 31 nach Fig. 4 wird zur Zentrierung des Ventilschaftendes am Tellerboden die zylindrische Innenoberfläche 32' des hohlen Ventilschaftes 32 ausgenützt. Dementsprechend ist in der Mitte des Tellerbodens 38 ein kleiner auf das Innenmaß des Hohlenschaftes abgestimmter Zentrierzapfen 40 vorgesehen, der formschlüssig in die zylindrische Innenoberfläche des Ventilschaftes eingreift.

[0050] Durch die in Fig. 4 dargestellte Alternative des gebauten Ventils soll gezeigt werden, daß auch bei Einsatz des zweiten Lösungsweges mit Vorspannkraftreserve innerhalb des hohlen Ventiltellers nicht nur ein Vollquerschnitt-Ventilschaft 22 (Fig. 3) sondern auch ein hohler Ventilschaft 32 in Frage kommen kann, wodurch das gebaute Ventil um ein gewisses Maß leichter gestaltet werden kann. Die in Fig. 4 gezeigte Form des Hohlenschaftes 32 kann aus einem Rohrstück beispielsweise im Rollfließverfahren rationell hergestellt werden.

#### Patentsprüche

1. Gebautes Ventil (1, 11) für Hubkolbenmaschinen, bestehend aus einem Ventilschaft (2, 12) und aus einem baulich gesonderten Ventilteller (3, 13), mit einer am Ventilteller (3, 13) vorgesehenen, bis zur Brennraumseite des Ventiltellers (3, 13) durchgehend ausgebildeten, d. h. an der Brennraumseite offenen Mittenöffnung (4, 14) zur Aufnahme des tellerseitigen Endes des Ventilschaftes (2, 12), wobei eine sich in Umfangsrichtung erstreckende, innerhalb der Mittenöffnung (4, 14) verbleibende, hinterschnittene Erweiterung (5, 15) im Ventilteller (3, 13) vorgesehen ist, die in ihrem Querschnitt entsprechend einer sich beim axialen Warmstauchen einstellenden freien Materialverdickung mit harmonisch gerundeten Übergängen ausgebildet ist, ferner mit wenigstens einer beim tellerseitigen Ende des Ventilschaftes (2, 12) angebrachten, als eine axiale Stauchung des Materialquerschnittes des Schaftrohrlings (2', 12') ausgebildete Verdickung (6, 16), die in die tellerseitige, hinterschnittene Erweiterung (5, 15) der Mittenöffnung (4, 14) derart eingreift, dass die tellerseitige hinterschnittene Erweiterung (5, 15) die schaftseitige Verdickung (6, 16) axial übergreift und letztere durch die tellerseitige hinterschnittene Erweiterung (5, 15) axial eingeklemmt ist, wobei eine formschlüssige, sowohl in Druck- als auch in Zugrichtung belastbare, als auch verkantungssichere Verbindung zwischen dem Ventilschaft und dem Ventilteller zustande kommt.
2. Gebautes Ventil (21, 31) für Hubkolbenmaschinen, bestehend aus einem Ventilschaft (22, 32) und aus einem baulich gesonderten Ventilteller (23, 33), mit einer am Ventilteller (23, 33) vorgesehenen Mittenöffnung (24, 34) zur Aufnahme des tellerseitigen Endes



des Ventilschaftes (22, 32), wobei innerhalb der Mittenöffnung (24, 34) eine sich in Umfangsrichtung erstreckende, hinterschnittene Erweiterung vorgesehen ist, in die der Ventilschaft (22, 32) mit seinem tellerseitigen Ende formschlüssig eingreift, so dass eine sowohl in Druck- als auch in Zugrichtung belastbare, als auch verkantungssichere Verbindung zwischen dem Ventilschaft (22, 32) und dem Ventilteller (23, 33) zustande kommt, der Ventilteller (23, 33) ist als ein aus einem kegelförmigen Oberteil (27, 37) und aus einem scheibenförmigen, mit dem Oberteil (27, 37) verschweißten (29, 29', 39) Tellerboden (28, 38) bestehender Hohlkörper ausgebildet, der nur am kegelförmigen Oberteil (27, 37) zur oberseitigen Durchführung des Ventilschaftes (22, 32) zentrisch offen ist (Mittenöffnung 24, 34), die axiale Bauteilelastizität des Tellerbodens (28, 38) ist wesentlich größer als die axiale Bauteilelastizität des in soweit möglichst steifen, kegelförmigen Oberteils (27, 37), in dem in den Hohlkörper (23, 33) hineinragenden Teil des Ventilschaftes (22, 32) ist ein radial abstehender Bund (26, 36) angeordnet, dessen oberseitige Querschnittskontur (26', 36') mit der innenseitigen Querschnittskontur (25, 35) des Hohlraums des kegelförmigen Oberteils (27, 37) übereinstimmt und dort unter mechanischer Vorspannung anliegt, die Stirnseite des Ventilschaftes (22, 32) stützt sich axial unter mechanischer Vorspannung zentrisch an der Innenseite des Tellerbodens (28, 38) ab, im Einbaustand steht der Tellerboden (28, 38) axial unter einer mechanischen Biege-Vorspannung, derart dass der Außenrand des Tellerbodens (28, 38) – im Vergleich zur Axiallage des Außenrandes im entspannten Zustand – im Rahmen der Bauteilelastizität in Richtung zur brennraumabgewandten Seite des Ventiltellers (23, 33) hin axial versetzt ist (Versatzmaß A).

3. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Ventilschaft (12) hohl ausgebildet und die schaftseitig angestauchte Materialverdickung (16) aus der Wandung des Hohlshaftes (12) gebildet ist, wobei die Innenwandung im axialen Bereich der angestauchten Materialverdickung (16) zylindrisch ausgebildet ist, und dass der Hohlshaft (12) brennraumseitig verschlossen (12'') ist.

4. Ventil nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der angestauchte Schaftrohring (12') stumpf an der Axialposition der Brennraumseite des Ventiltellers endigt und dass der brennraumseitige Verschluss des Hohlshaftes (12) durch einen endseitig eingeschweißten Stopfen (12'') gebildet ist.

5. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Ventilteller (3, 13) aus einem Werkstoff mit einem geringeren Temperaturexpansionskoeffizienten als Stahl, dem Werkstoff des Ventilschaftes (2, 12), besteht.

6. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der aus einer Keramik bestehende Ventilteller (3) seinerseits aus zwei durch Sintern miteinander verbundenen Formteilen (7, 8) besteht, wobei eine Teilungsfuge zwischen den beiden Formteilen (7, 8) axial an der Position des größten Durchmessers der sich in Umfangsrichtung erstreckende Erweiterung (5) liegt.

7. Ventil nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Formteile (7, 8) des Ventiltellers (3) durch eine im Außenbereich angenähert zylindrische Teilungsfuge mit geringer Konizität zueinander zentriert sind.

8. Ventil nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Formteile (7, 8) des Ventiltellers (3) aus der selben Keramik bestehen und dass die Fuge, entlang der die beiden Formteile (7, 8) miteinander verbunden sind, mit einem bei Erschmelzung chemisch irreversibel mit der verwendeten Keramik reagierenden Metall und/oder metallähnlichen Element oder mit einer darauf basierenden Legierung dotiert ist.

9. Ventil nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die sich axial unter mechanischer Vorspannung zentrisch an der Innenseite des Tellerbodens (28, 38) abstützende Stirnseite des Ventilschaftes (22, 32) durch ein Paar von aufeinander abgestimmten, schaftseitigen bzw. bodenseitigen Zylinderflächen (20 und 30; 32' und 40) am Tellerboden (28, 38) mechanisch zentriert ist.

10. Ventil nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Ventilschaft (32) und der radial abstehende Bund (36) hohl ausgebildet sind, wobei der radial abstehende Bund (36) aus der Wandung des Hohlshaftes (32) gebildet ist.

11. Ventil nach Anspruch 9 und 10, dadurch gekennzeichnet, dass der innenseitig am Tellerboden (38) unter Vorspannung anliegende und dort stumpf endigende Hohlshaft (32) durch einen vom Tellerboden aufragenden Zapfen (40) zentriert ist, der im Durchmesser auf die zylindrische Innenoberfläche (32') des hohlen Ventilschaftes (32) abgestimmt ist.

12. Ventil nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schweißfuge und die ihr folgende Schweißnaht (29') zwischen dem scheibenförmigen Tellerboden (28) und dem kegelförmigen Oberteil (27) des hohlen Ventiltellers (23) sich in einer achsenkrechten Ebene erstrecken.

13. Ventil nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schweißfuge und die ihr folgende Schweißnaht (29) zwischen dem scheibenförmigen Tellerboden (28, 38) und dem kegelförmigen Oberteil (27, 37) des hohlen Ventiltellers (23, 33) sich entlang einer zylindrischen oder konischen Fläche erstrecken.

14. Verfahren zum Herstellen eines gebauten Ventils (1, 11) für Hubkolbenmaschinen, insbesondere zum Herstellen eines Ventils nach Anspruch 1, welches aus einem Ventilschaft (2, 12) und aus einem baulich gesonderten Ventilteller (3, 13) besteht, mit einer im Ventilteller (3, 13) angebrachten Mittenöffnung (4, 14) zur Aufnahme des tellerseitigen Endes des Ventilschaftes (2, 12), die eine sich in Umfangsrichtung erstreckende, innerhalb der Mittenöffnung (4, 14) verbleibende, hinterschnittene Erweiterung (5, 15) enthält, in die wenigstens eine beim tellerseitigen Ende des Ventilschaftes (2, 12) angebrachte Verdickung (6, 16) formschlüssig eingreift, bei welchem Verfahren die sich in Umfangsrichtung erstreckende Erweiterung (5, 15) der Mittenöffnung (4, 14) des Ventiltellers (3, 13) in ihrem Querschnitt entsprechend einer sich beim axialen Warmstauchen einstellenden freien Materialverdickung mit harmonisch gerundeten Übergängen ausgebildet wird und dass die schaftseitige Verdickung (6, 16) durch axiales Stauchen des Materialquerschnittes des auf Warmumformtemperatur erwärmten, in die Mittenöffnung (4, 14) eingeführten Schaftrohrlings (2', 12') erzeugt wird, wobei der Ventilteller (3, 13) ebenfalls auf eine erhöhte Temperatur erwärmt wird und wobei der zu stauchende Schaftrohring (2', 12') ober- und unterhalb des Ventiltellers (3, 13) außenseitig durch ein Stützwerkzeug (50, 51, 52) axial gleitbar abgestützt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Ventilteller (13) während des Stauchens des Schaftrohrlings (12') mindestens auf Umformtemperatur des Werkstoffs des Schaftrohrlings (12') erwärmt wird. 5
16. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die innerhalb der Mittenöffnung (14) sich in Umfangsrichtung erstreckende, hinterschnittene Erweiterung (15) durch einen entsprechend geformten, verlorenen Kern einer Gieß- oder Pressform erzeugt wird. 10
17. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem aus einem vorgefertigten Ventiltellergrünling gesinterten Ventilteller, dessen Ventiltellergrünling aus einem sinterbaren Pulver fomggepresst wird, die sich in Umfangsrichtung erstreckende Erweiterung (15) der Mittenöffnung (14) durch einen wiederverwendbaren Kern (43, 44, 45, 45') erzeugt wird, welcher zumindest teilweise aus einem gummielastischen Material besteht, der bei der Herstellung des Ventiltellergrünlings, d. h. während des Verdichtungsvorganges des Pulvers, axial gestaucht und/oder hydraulisch aufgeweitet wird und dabei die Erweiterung (15) selbsttätig ausbildet. 20
18. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung der innerhalb der Mittenöffnung (4) sich in Umfangsrichtung erstreckenden, hinterschnittenen Erweiterung (5) der Ventilteller (3) seinerseits aus zwei miteinander verbundenen Formteilen (7, 8) hergestellt wird, wobei der Ventilteller (3) durch eine Teilungsfuge in die beiden Formteile (7, 8) unterteilt wird, die sich zumindest teilweise in der Ebene des größten Durchmessers der Erweiterung (5) erstreckt. 25
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden aus einer gleichen Keramik bestehenden Formteile (7, 8) unter Verwendung eines solchen Lotes miteinander verlötet werden, welches aus einem Metall und/oder metallähnlichen Element oder aus einer Legierung daraus besteht, welches bei Erschmelzung chemisch irreversibel mit der verwendeten Keramik reagiert. 30
20. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden aus einem schweißbaren oder hartlötbaren Werkstoff bestehenden Formteile (7, 8) miteinander verschweißt bzw. verlötet werden. 35
21. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass während des Stauchens eines Holschaftes (12) dieser zusätzlich innenseitig durch einen in das Innere des Holschaftes (12) einzuführenden Stützdom (52) abgestützt wird. 40
22. Verfahren nach Anspruch 14 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaftrohrling (2', 12') nur lokal, nämlich im axialen Bereich der Umformung, auf Umformtemperatur erwärmt wird. 45
23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die lokale Erwärmung des Schaftrohrlings (2', 12') auf Umformtemperatur durch eine widerstandselektrische Beheizung (54, 55) des Schaftrohrlings (2', 12') erzeugt und/oder aufrecht erhalten wird. 50
24. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Ventilteller (3, 13) vor und während des Stauchens des Schaftrohrlings (2', 12') durch wenigstens eine auf ihn gerichtete, offene Flamme (Brenner 56) erwärmt wird. 55
25. Verfahren zum Herstellen eines gebauten Ventils (21, 31) für Hubkolbenmaschinen, insbesondere zum Herstellen eines Ventils nach Anspruch 2, welches aus

einem Ventilschaft (22, 32) und aus einem baulich gesonderten Ventilteller (23, 33) besteht, der eine Mittenöffnung (24, 34) zur Aufnahme des tellerseitigen Endes des Ventilschaftes (22, 32) enthält, in die der Ventilschaft (22, 32) mit seinem tellerseitigen Ende form-schlüssig eingreift, so dass eine sowohl in Druck- als auch in Zugrichtung belastbare, als auch verkantungs-sichere Verbindung zwischen dem Ventilschaft (22, 32) und dem Ventilteller (23, 33) zustande kommt, mit folgenden Verfahrensschritten:

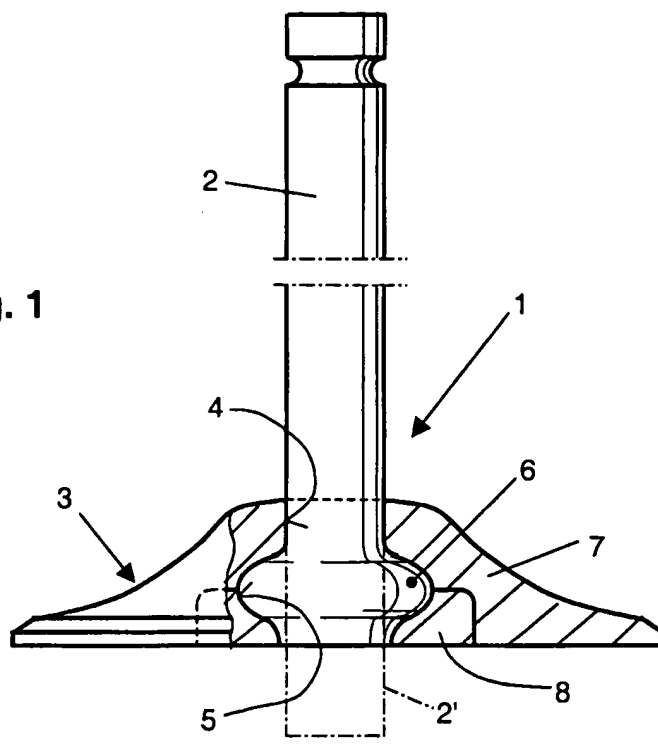
- es wird ein axial möglichst steifes, kegelförmiges Oberteil (27, 37) eines hohlen Ventiltellers (23, 33) sowie ein gesonderter scheibenförmiger, bezüglich der axialen Bauteilelastizität wesentlich weicher als das kegelförmige Oberteils (27, 37) ausgebildete Tellerboden (28, 38) jeweils aus einem schweißbaren Leichtbau-Werkstoff hergestellt, wobei nur am kegelförmigen Oberteil (27, 37) eine zentrische Öffnung (24, 34) zur oberseitigen Durchführung des Ventilschaftes (22, 32) ausgespart wird,
- es wird ferner ein Ventilschaft (22, 32) mit einem radial abstehenden Bund (26, 36) im Bereich des tellernahen Endes hergestellt, wobei die oberseitige Querschnittskontur (26', 36') des radial abstehenden Bundes (26, 36) mit der innenseitigen Querschnittskontur (25, 35) des Hohlraums des kegelförmigen Oberteils (27, 37) übereinstimmt und wobei der Abstand der oberseitigen Querschnittskontur (26', 36') des radial abstehenden Bundes (26, 36) vom tellernahen Ende des Ventilschaftes (22, 32) um ein bestimmtes, innerhalb der Bauteilelastizität des Tellerbodens (28, 38) liegendes Maß (A) größer ist als der lichte axiale Freiraum innerhalb des geschlossenen Hohlkörpers des Ventiltellers (32, 33),
- nach dem Fügen von kegelförmigen Oberteil (27, 37), Ventilschaft (22, 32) und Tellerboden (28, 38) wird letzterer in der Weise axial gespannt, dass der Rand des Tellerbodens (28, 38) und der Rand des kegelförmigen Oberteils (27, 37) unmittelbar aufeinander liegen, und
- unter Aufrechterhaltung des so erzeugten, axial gespannten Zustands des Tellerbodens (28, 38) wird dieser mit dem kegelförmigen Oberteil (27, 37) verschweißt (29, 29', 39).

---

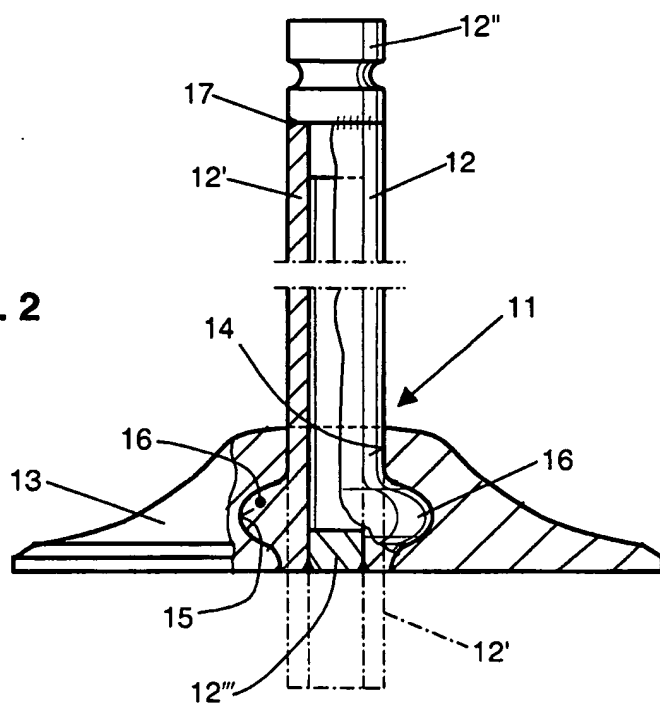
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

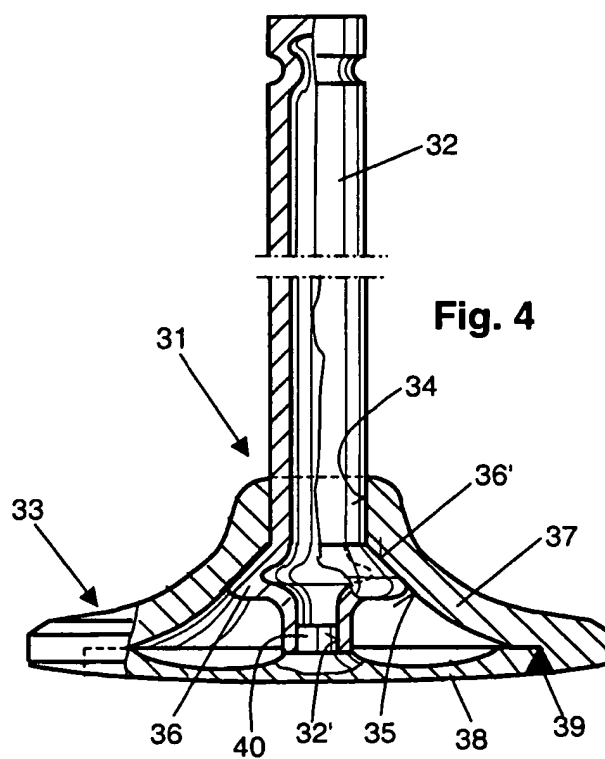
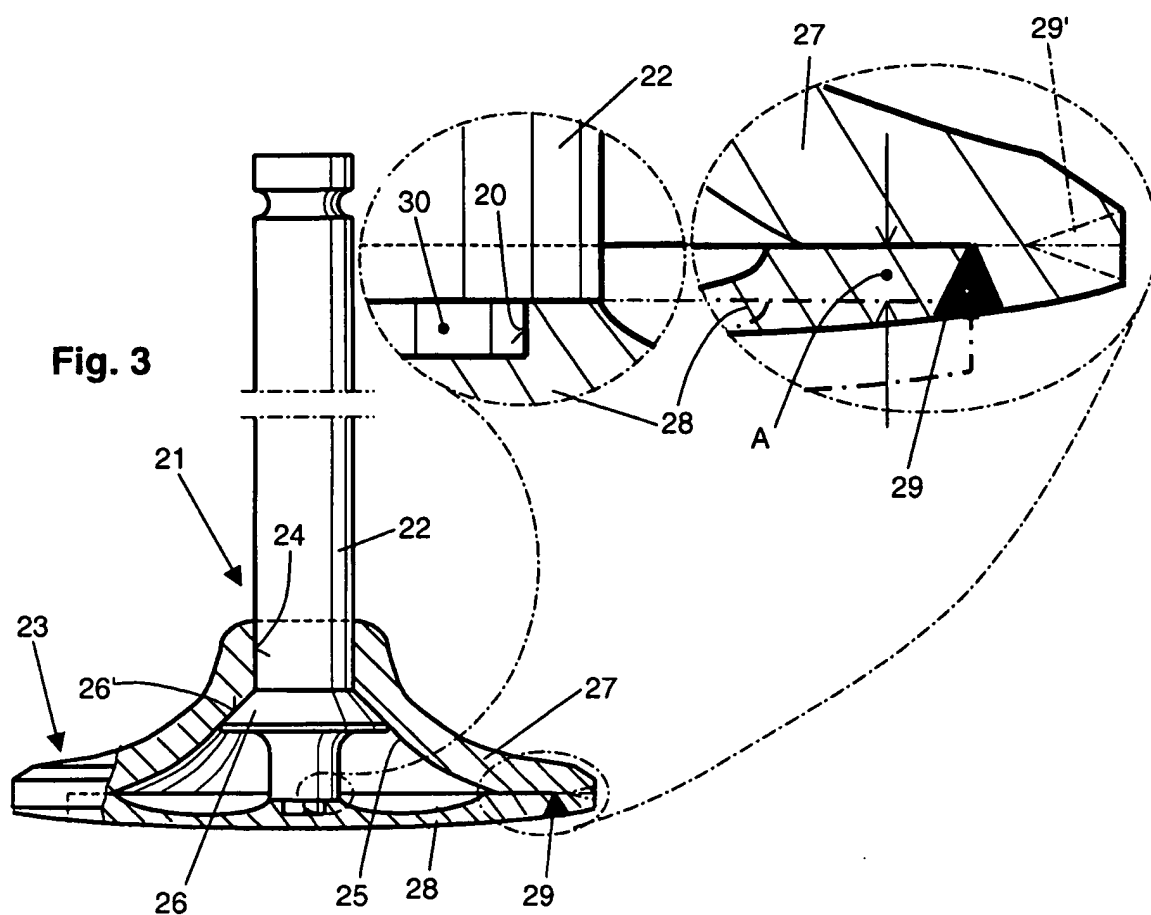
---

**Fig. 1**

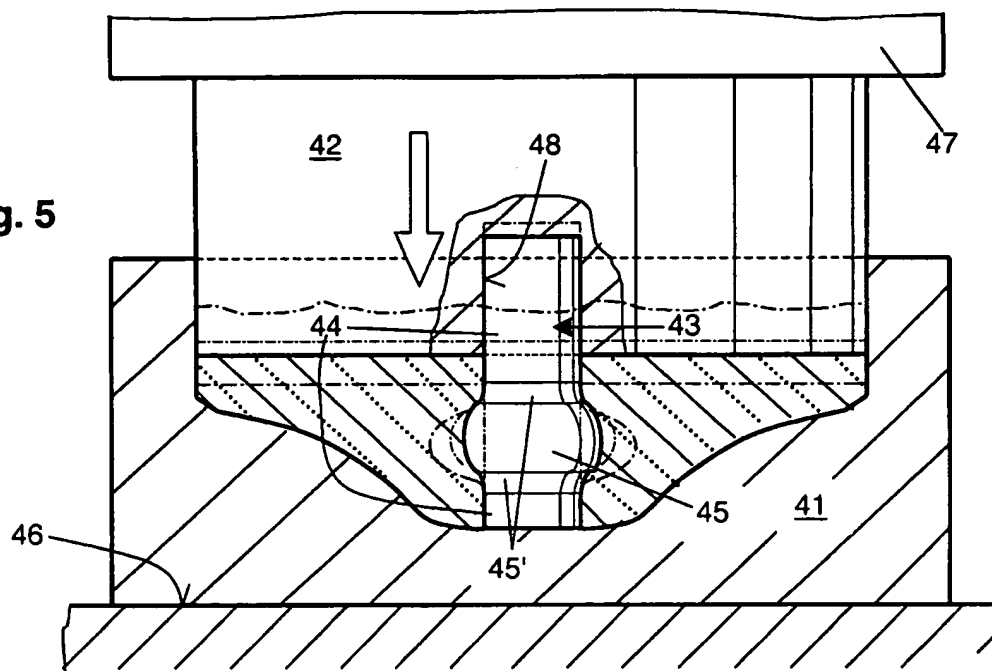


**Fig. 2**





**Fig. 5**



**Fig. 6**

